

# Els sistemes de posicionament global. Una tècnica geogràfica

Pere Pujol i Causa

Montserrat Pujadas i Tort

Universitat de Girona. Secció de Geografia

Plaça Ferrater Mora, 1. 17071 Girona

Data de recepció: abril 1995

Data d'acceptació: octubre 1995

## Resum

Des de fa pocs anys els sistemes de posicionament global s'estan imposant com una eina interessant i, fins i tot, imprescindible per al posicionament i la navegació marítima, aèria i terrestre. És per això que, des del punt de vista de la geografia, esdevindrà una tècnica tan interessant com la teledetecció o els sistemes d'informació geogràfica.

En aquest article realitzarem una introducció als sistemes de posicionament global, fent un repàs als components, a la forma de calcular la distància, a la precisió i a la metodologia de treball.

**Paraules clau:** sistemes de posicionament global, teledetecció, sistemes d'informació geogràfica.

## Resumen. *Los sistemas de posicionamiento global. Una técnica geográfica*

En los últimos años los sistemas de posicionamiento global se han convertido en un instrumento imprescindible para el posicionamiento y la navegación marítima, aérea y terrestre, a la vez que cuentan con importantes aplicaciones en los campos de la cartografía, la teledetección, los sistemas de información geográfica, la topografía, etc.

En este artículo se realiza una aproximación a los sistemas de posicionamiento global, donde se tratan, entre otros aspectos, los componentes, la forma de calcular la distancia, la precisión y la metodología de trabajo con estos sistemas.

**Palabras clave:** sistemas de posicionamiento global, teledetección, sistemas de información geográfica

## Résumé. *Les systèmes de positionnement global. Un outil géographique*

Depuis peu, les systèmes de positionnement global sont devenu des outils très intéressants et, dans certains cas, indispensables pour le positionnement et la navigation —maritime, aérienne et terrestre— avec un vaste éventail d'applications dans les domaines de la cartographie, la télédétection, les systèmes d'information géographique, la topographie, etc.

L'objectif de cet article est de réaliser une approche des systèmes de positionnement global en faisant une révision des composantes, de la précision et de la méthodologie de travail avec ces systèmes.

**Mots clés:** systèmes de positionnement global, télédétection, systèmes d'information géographique.

---

**Abstract.** *Global Positioning Systems. A geographical instrument*

---

In recent years Global Positioning Systems have been introduced as a useful, and even essential, instrument for air, land and sea positioning and navigation. They also have important applications in the field of cartography, remote sensing, Geographical Information Systems, topography, etc.

This article serves as an introduction to Global Positioning Systems, by outlining its components, the method of calculating distances, their precision and the methodology for working with such systems.

**Key words:** Global Positioning Systems, remote sensing, Geographical Information Systems.

---

**Sumari**

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Nocions bàsiques                 | 5. Correcció diferencial de les posicions  |
| 2. Planificació del treball de camp | 6. Verificació i exportació dels resultats |
| 3. Els aparells portàtils           | 7. Conclusions                             |
| 4. Les estacions de referència      | Bibliografia                               |

**1. Nocions bàsiques**

Els sistemes de posicionament global (SPG), són uns sistemes de navegació global implementats pel Departament de Defensa dels Estats Units d'Amèrica, i que permeten: el posicionament de qualsevol punt —càlcul de la longitud, latitud i altitud— sobre la superfície de la Terra, el mar o l'aire; la navegació marítima, aèria o terrestre, i obtenir el temps amb precisió de rellotge atòmic utilitzant els satèl·lits NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging).

**1.1. Components**

El sistema de posicionament global està constituït per tres components essencials: l'espacial, el de control i l'usuari. L'espacial, format per la constel·lació de satèl·lits NAVSTAR, llançats a l'espai des de 1978, consta de vint-i-quatre satèl·lits distribuïts en sis plans orbitals inclinats 55° respecte de l'equador —quatre satèl·lits per òrbita—, a una altitud de 20.180 km i amb un període de dotze hores, és a dir, que cada satèl·lit fa dues voltes completes cada dia. Tots els satèl·lits porten de dos a quatre rellotges atòmics i transmeten constantment senyals de ràdio utilitzant el seu propi codi.

El component de control està format per cinc estacions terrestres de seguiment —la central i quatre de secundàries—, que estan distribuïdes a prop de l'equador i a distàncies semblants entre elles. La seva finalitat és la de controlar el funcionament del sistema i de recollir la informació necessària per establir amb una gran precisió les òrbites dels satèl·lits. Aquesta informació serà processada a l'estació central (Colorado Springs, EUA) per calcular les efemè-

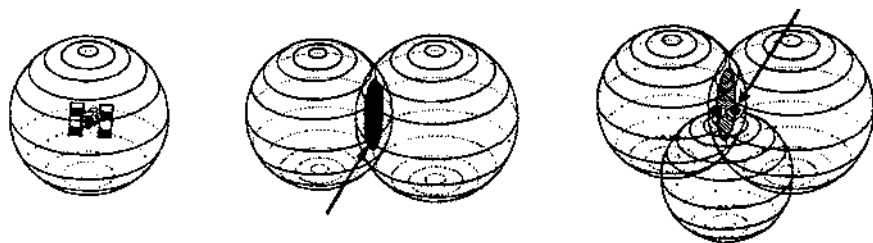
rides —prediccions de la posició dels satèl·lits de la constel·lació de SPG en un moment donat— i l'estat dels rellotges dels satèl·lits, i enviada i emmagatzemada als satèl·lits per a la seva radiodifusió, almenys una vegada al dia. El tercer component és l'usuari i està format pels equips receptors de SPG que consten essencialment de l'antena i el receptor.

### 1.2. Càlcul de la distància

Hi ha tres mètodes per calcular la distància amb els SPG: el Doppler, el de pseudodistàncies i el de mesura de la fase. Aquí només s'explicarà el segon perquè la seva utilització està molt estesa i perquè és el que utilitzen els equips aquí descrits.

El càlcul de la distància amb els SPG per mitjà del mètode de pseudodistàncies es fonamenta en què per definir les coordenades d'un punt l'aparell receptor de SPG necessita calcular la distància que hi ha d'ell fins a diversos satèl·lits de la constel·lació SPG, fent que aquests facin de punts de referència precisa.

El càlcul del posicionament amb un SPG es realitza situant el receptor en la intersecció d'unes esferes imaginàries amb centre en el satèl·lit i radi la distància entre l'un i l'altre. Si, per exemple, la distància entre el receptor i el satèl·lit A és de 21.000 km —gràfic 1—, això significa que aquell pot estar localitzat en qualsevol punt de la superfície d'una esfera imaginària de 21.000 km de radi amb el satèl·lit al centre. Si el receptor calcula la distància a un altre satèl·lit, el B, i que també és de 21.000 km, la possible localització del SPG quedarà reduïda a un cercle producte de la intersecció entre les dues esferes imaginàries —gràfic 2—. Amb un tercer mesurament a un satèl·lit C, a la mateixa distància, la possible localització del receptor es reduirà a dos punts, ja que l'esfera imaginària formada al voltant del tercer satèl·lit talla el cercle format per la intersecció del satèl·lit A i el B només en dos punts —gràfic 3—. Amb la utilització d'un quart satèl·lit es determinarà quin d'aquests dos punts és el correcte.



Gràfic 1. Gràfic 2. Gràfic 3.

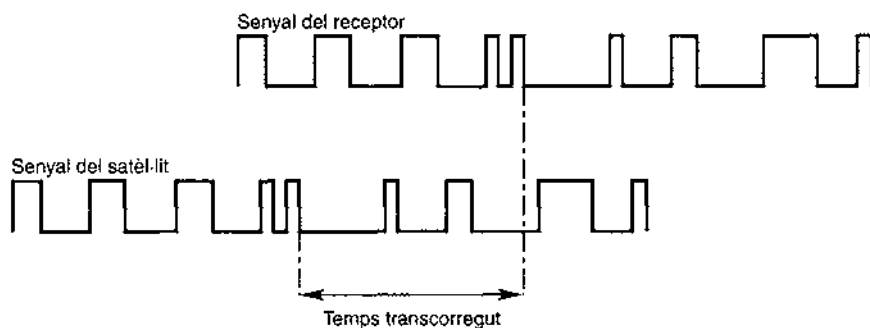
Els SPG calculen la distància a un satèl·lit mesurant primer el temps que tarda a arribar fins a ell el senyal radioelèctric emès pel satèl·lit i aplicant després la coneguda fórmula:

$$\text{velocitat} = \frac{\text{distància}}{\text{temps}}$$

La velocitat serà la de la llum —300.000 km/s—, ja que les ones de ràdio es traslladen a aquesta velocitat. Així doncs, manca saber el temps transcorregut entre l'emissió del senyal i la seva recepció. Per poder conèixer aquest temps, farà falta saber a quina hora s'ha emès el senyal i calcular la diferència amb l'hora de recepció.

Per poder resoldre això, tant els satèl·lits com els aparells receptors de SPG han estat programats i sincronitzats perquè generin idèntics conjunts de codis digitals complexos, anomenats *pseudoaleatoris* i que es repeteixen cada mil·l·segon. L'aparell receptor compara retrospectivament el codi rebut i el que ell ha generat —i té emmagatzemat— i calcula el temps que fa que ell mateix ha generat exactament el mateix codi —vegeu el gràfic 4—. La complexitat d'aquest codi facilita la comparació i elimina l'ambigüitat. Aquesta diferència serà el temps que ha tardat el senyal electromagnètic a recórrer la distància entre el satèl·lit i el receptor de SPG.

Això implica que els dos, el satèl·lit i el receptor, estan perfectament sincronitzats i que generen a la mateixa hora el mateix codi. Per tant, els rellotges utilitzats han de ser de gran precisió, ja que el senyal de ràdio recorre en 0,07 segons la distància de 21.000 km, a la qual estan situats els satèl·lits de la constel·lació de SPG. O, per posar-ne un altre exemple, un error de mesurament en el temps d'una centèsima de segon pot comportar un error de 3.000 km en el càlcul de la distància.



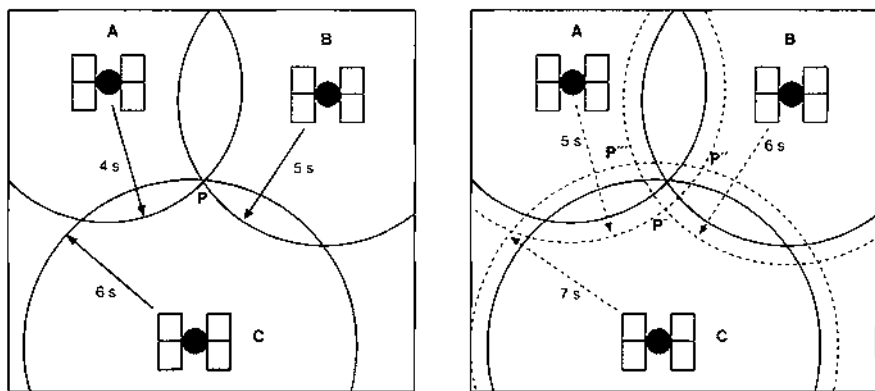
Gràfic 4. Càlcul del temps.

Quant als satèl·lits, no hi ha problema perquè cada un porta de dos a quatre rellotges atòmics per assegurar que permanentment n'hi haurà un de funcionant. Però els rellotges que porten incorporats els aparells receptors no són de tanta precisió per raons de cost i de pes, i és aquí on podrien aparèixer problemes. Per solucionar-los es realitza un mesurament extra, a un quart satèl·lit, que resoldrà els problemes que puguin aparèixer per un sincronisme imperfecte.

És per això que s'hauran de tenir en compte els possibles retards. Seguidament veurem un exemple en dues dimensions, utilitzant tres satèl·lits i on la distància als satèl·lits es representa en segons. Tal com es representa en el gràfic 5, cada satèl·lit té al seu voltant una circumferència on pot estar situat el receptor. El satèl·lit A està situat a 4 segons del receptor de SPG, el B està a 5 segons i el C a 6 segons. Així doncs, només hi haurà un punt d'intersecció entre les tres distàncies, el punt P. Aquest punt és on es trobaria el receptor si els rellotges estiguessin sincronitzats. Suposem, però, que el rellotge del receptor va 1 segon retardat —gràfic 6—, i que aquest indica que el satèl·lit A està situat a 5 segons, el B a 6 segons i el C a 7 segons —línies discontinües—. Com es pot observar, no hi ha cap punt on es tallin les circumferències dels temps retardats, i és així com s'obtenen tres punts d'intersecció: P', P'' i P'''.

Els receptors estan programats perquè quan passi això calculin, sumant —per si va avançat— o restant —per si va retardat— la mateixa quantitat de temps a totes les distàncies, fins esbrinar el punt on coincideixen totes elles. En el cas explicat en el gràfic 6, si es resta 1 segon de cada mesura s'obindrà la desviació del rellotge.

En tres dimensions succeirà el mateix, però en comptes de representar la distància dels satèl·lits al receptor amb circumferències, es faria amb esferes, tal com s'ha vist en els gràfics 1, 2 i 3, i farien falta quatre satèl·lits.



Gràfic 5. Gràfic 6.

### 1.3. La precisió

Cada satèl·lit de SPG emet dos senyals de ràdio —L1 i L2— a dues freqüències diferents dins la banda L de l'espectre electromagnètic, entre 1 Ghz i 2 Ghz. En el senyal L1 s'envien dos codis pseudoaleatoris i un missatge. El primer codi és l'anomenat codi P —Precise—, el segon és el codi C/A —Coarse/Acquisition— o estàndard, i el missatge consisteix en informació general per a tots els usuaris del sistema, com: informació de l'estat dels rellotges, si el satèl·lit està avariament o no, les efemèrides i l'almanac, que consta d'informació de les òrbites i els rellotges de tots els satèl·lits, com també informació de nous satèl·lits i possibles canvis d'òrbita d'algun dels ja existents. Tant el codi P com el C/A s'utilitzen pel posicionament.

El codi P, d'ús militar, pot ésser encriptat en el procés que s'anomena AS —Anti-Spoofing— per assegurar als militars l'exclusivitat d'accés al sistema. Aquest és menys susceptible a les interferències i als retards en travessar l'atmosfera que el codi C/A, perquè té més freqüència.

El codi C/A no s'encripta mai, però pot ser degradat pel Departament de Defensa dels EUA mitjançant la SA o disponibilitat selectiva —Selective Availability—, que consisteix en la introducció voluntària d'errors en la informació transmesa pels satèl·lits, per reduir la precisió del sistema, en produir-se errors en el càlcul de posicions i del temps. La disponibilitat selectiva, que va ser activada per primera vegada el 25 de març de 1990 —Guerra del Golf—, es pot activar i desactivar sense previ avís, ja que és propietat de l'esmentat organisme i no es lloga per a ús civil, senzillament es «tolera» la seva utilització. Amb la SA desactivada la precisió del sistema és de 10 a 20 metres. Mentre que amb la SA activada la precisió horitzontal absoluta és de 100 m el 95% del temps, i entre 100 i 300 m el 99,9% de la resta del temps (Núñez, 1992, p. 81). L'error generat per la SA pot ser pràcticament eliminat mitjançant la correcció diferencial.

Mentre que en el senyal L1 s'emeten els codis P i C/A i el missatge, en el senyal L2 només es transmet el codi P i el missatge i, per tant, només hi tindran accés els militars. L'existència dels dos senyals —L1 i L2— els permet augmentar la precisió en comparar-los, ja que es propaguen a velocitat diferent i són afectats per l'atmosfera de manera diferent en basar-se en dues freqüències diferents.

L'equip en el qual hem fonamentat la nostra experiència està format per dos aparells PathFinder Plus de la marca Trimble Navigation que disposen de sis canals de recepció de radiofreqüències i que poden realitzar el seguiment simultani de vuit satèl·lits. És a dir, que aïllen el senyal de fins a vuit satèl·lits, encara que de tots aquests en seleccionen sis —nombre de canals dels aparells—. A partir dels quals escolliran els quatre que proporcionin més precisió —cal recordar que quatre és el nombre de satèl·lits necessaris per al posicionament amb SPG—. Amb altres paraules, els aparells estan constantment captant i processant la informació rebuda per seleccionar la constel·lació de quatre satèl·lits que proporcionin la millor geometria. Les constel·lacions són cada una

de les combinacions que es poden fer amb els satèl·lits visibles en un lloc i en una hora determinada i estan formades per un nombre determinat de satèl·lits, en aquest cas quatre.

Per escollir la millor geometria s'utilitza la «dilució de la precisió» (DOP, *Dilution of Precision*) que és un càlcul matemàtic en què es té en compte la posició relativa de cada satèl·lit respecte dels altres dins d'una mateixa constel·lació, per predir la precisió de les posicions obtingudes a partir d'una constel·lació determinada, indicant la qualitat de la geometria d'aquesta.

Hi ha diferents tipus de DOP, però el més utilitzat és el PDOP (dilució de la precisió de la posició), que reflecteix l'efecte del DOP en la latitud, la longitud i l'altitud. Un PDOP entre 1 i 4 és excel·lent, entre 4 i 9 és acceptable —segons el grau de precisió necessària— i un PDOP superior a 9 és dolent.

Els aparells de SPG calculen i informen permanentment del PDOP de la constel·lació utilitzada. També permeten la configuració d'una «màscara de PDOP», és a dir, que es pot definir el valor màxim de PDOP acceptat, a partir del qual l'aparell no enregistrarà posicions. Altres exemples de DOP són: el HDOP, dilució de la precisió en horitzontal, en 2D; el VDOP, en la vertical, només en l'altitud; i el TDOP, en el temps.

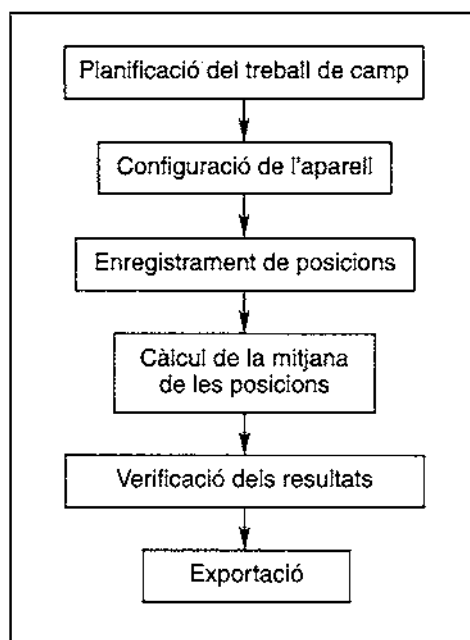
En la precisió del posicionament mitjançant SPG hi intervenen la SA, l'AS, i els diferents DOP i, a més a més, la qualitat de l'equip de què es disposi, el mètode de posicionament, la precisió en la georeferenciació de l'estació de referència —si és que se n'utilitza—, les interferències ionosfèriques i atmosfèriques, i la baixa intensitat del senyal captat pels receptors dels diferents satèl·lits en un lloc i en un moment determinats.

#### 1.4. Mètodes de posicionament

Els mètodes de posicionament es poden classificar en tres categories: a partir del sistema de referència, segons el moviment del receptor i les combinacions d'aquests. Segons el sistema de referència poden ser: *absolut*, amb un sol aparell, o *relatiu*, amb dos aparells —amb correcció diferencial en temps real o postprocessament—. Segons el moviment del receptor poden ser: *estàtic*, sense moviment de l'equip, o *dinàmic*, amb moviment de l'equip.

Essencialment, hi ha dos mètodes de posicionament amb els SPG: el primer és mitjançant la utilització d'un sol aparell de SPG, que pot estar en moviment o no, i el segon, mitjançant la utilització de dos aparells de SPG i realitzant la correcció diferencial de les dades, en el mateix moment de rebre el senyal dels satèl·lits —en temps real— o posteriorment. S'explicaran més detalladament en els apartats següents.

En el gràfic 7 es pot observar la metodologia de treball amb l'ús d'un sol aparell, tant si està en moviment com si no.



Gràfic 7. Metodologia de treball amb un sol SPG.

## 2. Planificació del treball de camp

Ja s'ha comentat que per obtenir posicions<sup>1</sup> en tres dimensions és necessari que l'aparell capti almenys quatre satèl·lits, i per aconseguir una bona precisió aquests han de formar una bona geometria o, el que és el mateix, que el PDOP sigui inferior o igual a 4. És per això que la planificació del treball de camp és important, i pot ajudar a reduir despeses i esforços innecessaris, ja que no sempre es compliran aquestes condicions.

Així doncs, abans d'anar a realitzar el treball de camp esbrinarem les condicions que trobarem. Juntament amb l'equip de SPG s'entrega un programa informàtic anomenat PROPLAN que calcula, després de subministrar-li la informació necessària, quants i quins satèl·lits estaran disponibles un dia, una hora i en un lloc determinats, els diferents valors de PDOP que donaran les diferents constel·lacions, l'inici i el final d'aquestes, etc.

1. A partir d'ara i en la resta de l'article es diferenciarà entre posició i punt. Una *posició* vindrà definida per un conjunt de tres coordenades —latitud, longitud i altitud— captades per un aparell de SPG. En canvi, un *punt* vindrà definit per les coordenades —latitud, longitud i altitud— que s'obtenen després de realitzar la mitjana d'un determinat nombre de posicions amb correcció diferencial o sense. Punt i posició coincidiran quan el punt estigui definit per una sola posició.



### 3. Els aparells portàtils

Els aparells portàtils disposen d'una antena interior —encara que per facilitar el treball de camp se'ls pot connectar una antena exterior—, d'un receptor de radiofreqüències amb diferents canals per poder fer el seguiment de diversos satèl·lits al mateix temps, un processador intern amb el seu suport lògic —*software* i *firmware*—, una unitat magnètica d'emmagatzematge, la pantalla de comunicacions, el teclat de control, connectors —un per a l'antena exterior i un per a l'ordinador— i connexions a fonts d'alimentació.

La forma de treball implica primerament configurar l'aparell, després registrar les posicions i, finalment, traspasar-les a un ordinador i processar-les amb el programa informàtic adequat.

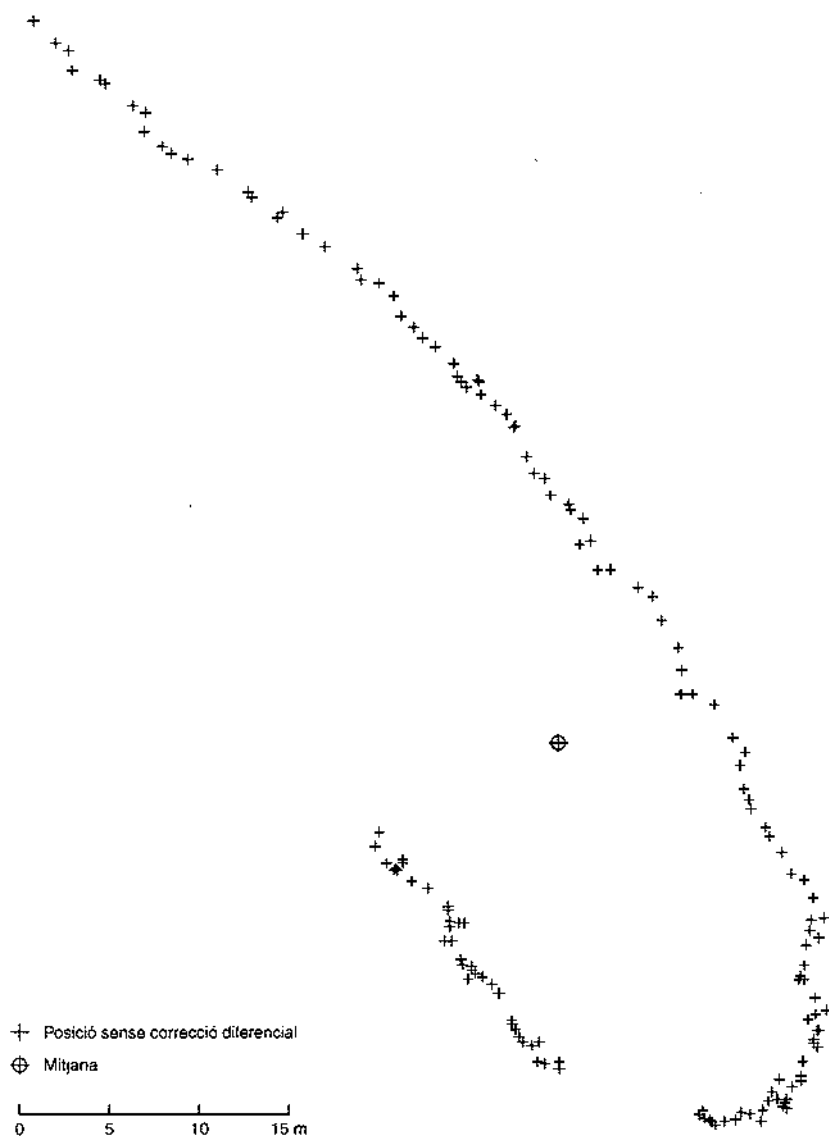
Per configurar l'aparell se li ha de proporcionar un seguit d'informacions: el desfasament horari entre el temps universal i l'hora local del lloc on s'estigui treballant; el tipus de coordenades que es vol utilitzar; el Dàtum; l'altitud referida al nivell mitjà del mar o a l'elipsoide; les unitats amb què mesurarà les distàncies, l'altitud i la velocitat; si el treball de camp es realitzarà per terra, mar o aire; si l'aparell restarà en un lloc fix o si es mourà —per exemple instal·lat sobre un cotxe—; el valor màxim acceptat de PDOP; si es vol treballar en 2D o 3D, en el primer cas es necessitarà una constel·lació de tres satèl·lits, mentre que en el segon cas seran quatre; la mínima intensitat del senyal dels diferents satèl·lits —si el senyal d'un dels satèl·lits utilitzats és rebut amb una intensitat feble la georeferenciació serà menys precisa—, i la freqüència d'enregistrament de posicions.

Per conèixer les coordenades d'un punt determinat es connectarà l'aparell i caldrà esperar d'un a tres minuts a què l'SPG rebí el senyal de diversos satèl·lits i processi les efemèrides d'algun d'ells. I, a partir de quan l'aparell capti com a mínim quatre satèl·lits i el PDOP sigui inferior o igual a 4, es disposarà de la posició del punt.

Si es vol més precisió s'haurà de crear/obrir un arxiu on es guardaran totes les posicions que serviran per definir un punt determinat després de calcular la mitjana d'elles.

La quantitat de posicions que s'han d'enregistrar per definir cada punt és arbitrària, encara que quantes més millor, ja que posteriorment es calcularà la mitjana aritmètica de totes elles i s'obtindrà una precisió més gran en les coordenades del punt resultant. Per exemple, podem observar en el gràfic 8 la georeferenciació d'un punt a partir de 150 posicions captades per un aparell mòbil, enregistrant una posició cada segon i sense moure l'aparell. Es fa evident la gran dispersió de les posicions —entre les dues posicions més allunyades hi ha 72,4 metres—, aquesta és produïda per tots els elements i processos que afecten la precisió i que han estat comentats anteriorment. Al mig de la corba es representa la mitjana aritmètica de totes les posicions.

En el cas que es vulguin calcular les coordenades dels punts que defineixen una línia —per exemple una carretera—, la metodologia de treball amb l'SPG portàtil canviarà lleugerament. En aquest cas s'instal·larà l'antena exte-



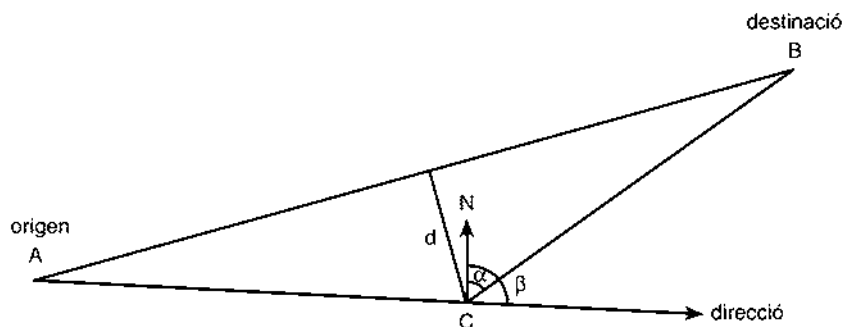
Gràfic 8.

rior de l'SPG portàtil sobre el sostre del cotxe, utilitzant un imant enroscat a la base de l'antena. Es configurarà l'aparell per treballar en moviment, es connectarà i s'esperarà que rebí el senyal d'un mínim de quatre satèl·lits, i tot seguit es començarà a enregistrar posicions —obrint un arxiu—, al mateix temps que s'inicia la marxa amb el cotxe.

En aquest cas no caldrà enregistrar una freqüència tan elevada de posicions com en el cas anterior, ja que aquesta estarà en funció de la velocitat a què es vagi i de l'escala a què es vulgui representar la informació. Així, per exemple, per representar una línia a escala 1:100.000, serà suficient amb punts cada 0,5 mil·límetres sobre el mapa, això implica prendre una posició cada 50 metres. I si el recorregut es fa per una pista a la velocitat de 30 km/h (8,3 m/s) caldrà prendre una posició cada 6 segons.

En el cas que es vulgui definir una àrea o un polígon es podrà realitzar de dues maneres: la primera, fent el recorregut pel perímetre del polígon amb l'aparell de SPG prenent dades —mètode dinàmic—, i la segona, desplaçant-se fins als vèrtexs que definiran el polígon i captant un nombre determinat de posicions per definir cada vèrtex.

La majoria d'aparells de SPG portàtils disposen de la capacitat d'ajudar a la navegació terrestre, aèria o marítima. Introduint les coordenades d'un punt de sortida i d'un punt al qual es vol anar —punt de destinació— l'SPG ens guiarà per anar-hi. Observem el gràfic 9, suposem que som en el punt C, que s'ha partit del punt A i que es vol anar al punt B —que és a 12,6 km del primer—. En aquest punt l'aparell indicarà la distància que s'ha recorregut des de la sortida —5,9 km—, la distància que manca per arribar al punt de destinació —6,3 km— i la velocitat a la qual ens desplacem. També indicarà l'azimut —angle que forma tota recta amb el nord geogràfic— o el rumb que es porta ( $\beta$ ) —angle que forma tota recta amb el nord magnètic—, i el que s'hauria de seguir per corregir la direcció ( $\alpha$ ). Finalment indicarà la desviació (d) o distància i direcció a la qual s'està en el punt C respecte a la línia imaginària que uneix els punts origen i destinació. Així doncs, el rumb ( $\beta$ ) seguit fins al moment era de  $92^\circ$ ; s'ha de corregir per un de  $55^\circ$  ( $\alpha$ ); i s'està a 2,1 km (d) a la dreta de la línia recta entre A i B.



Gràfic 9. Exemple de navegació amb SPG.

#### 4. Les estacions de referència

La funció de les estacions de referència és la de possibilitar la correcció diferencial de les dades. Els aparells de SPG que s'utilitzen com a estacions de referència —o bases comunitàries— són equips especials que només funcionen connectats permanentment a una antena exterior i a un ordinador —al qual s'envien totes les dades que van rebent dels satèl·lits— i sota el control d'un programa informàtic que controla l'aparell i gestiona la informació captada per aquest. En alguns casos es pot utilitzar un aparell de SPG mòbil com a estació de referència, però tenen poca capacitat de memòria.

És molt important la precisa georeferenciació de l'estació de referència, és a dir, que es coneguin amb tota exactitud les seves coordenades —latitud, longitud i altitud—. De fet no es necessita conèixer la localització de l'aparell que utilitzem com a estació de referència, sinó les coordenades de la localització de la seva antena. Per fer aquesta tasca es pot utilitzar la mateixa estació de referència de SPG, deixant que l'estació reculli un gran nombre de posicions i fent després la mitjana de totes elles.

La informació que s'haurà de proporcionar a l'estació de referència per la seva configuració serà pràcticament la mateixa que per configurar un equip portàtil.

Cada hora en punt el programa que gestiona l'estació crea/obre un arxiu on va guardant totes les posicions que l'SPG captarà durant els 60 minuts següents.

#### 5. Correcció diferencial de les posicions

La correcció diferencial és una tècnica que permet augmentar la precisió de les posicions captades amb un aparell mòbil mitjançant la comparació de la informació captada per aquest i la captada per una estació de referència. Però una sola estació pot subministrar informació per fer la correcció diferencial a tants aparells de SPG mòbils com es vulgui, sempre que aquests treballin a una distància màxima de 500 quilòmetres de l'estació de referència. Això és possible, ja que es poden fer còpies dels arxius generats per la base i processar-los aïlladament amb els arxius que hagi generat cada un dels SPG mòbils.

Ja s'ha comentat que hi ha una sèrie d'elements i processos que fan que hi hagi un cert error en la informació captada pels equips de SPG. L'estació de referència compara les coordenades conegudes de la seva localització amb les coordenades que calcula a partir de la informació que rep dels diferents satèl·lits. La diferència entre les dues mesures és l'error. Les posicions rebudes són enregistrades en un arxiu digital, que posteriorment, durant la correcció diferencial, seran comparades amb les dades enregistrades per l'equip mòbil, i corregides.

Així doncs, la correcció diferencial implica que els dos aparells estan treballant a una distància màxima de 500 km —ja que es parteix del supòsit que dins d'aquesta distància la majoria d'errors que provenen del senyal dels satèl·lits són comuns a tots els aparells—. També suposa que els dos aparells —l'estació

de referència i el mòbil— han d'estar captant i enregistrant informació al mateix temps.

Hi ha dos tipus diferents de correcció diferencial: en temps real i en postprocessament. En el primer cas, la correcció diferencial es realitza al mateix temps que s'està captant la informació procedent dels satèl·lits. Per poder-ho fer s'ha de disposar de dos emissors receptors de ràdio connectats, un a l'estació de referència i l'altre a l'SPG mòbil. Així doncs, l'estació calcula l'error de cada satèl·lit en el mateix moment de rebre el senyal i l'envia —via ràdio— a l'SPG mòbil, que l'utilitza per corregir diferencialment la informació que està rebent. D'aquesta manera el resultat observat en la pantalla i enregistrat en un arxiu de l'aparell mòbil són les posicions corregides. Això és molt útil quan es necessita la màxima precisió sobre el terreny.

En la correcció diferencial en postprocessament l'estació de referència enregistra l'error de cada satèl·lit en un arxiu digital, mentre l'aparell portàtil enregistra les posicions en un altre arxiu. Posteriorment, en un ordinador i amb el programa informàtic adequat, es comparen els dos arxius generats al mateix temps i es corregeix l'error.

Podem observar en els gràfics 10 i 11 la correcció diferencial de les posicions representades en el gràfic 8. En el gràfic 10 tenim les 150 posicions corregides i la seva mitjana aritmètica. Es pot comprovar que la dispersió del núvol de posicions després de la correcció diferencial ha disminuït molt respecte a les posicions sense correcció: entre les dues posicions més allunyades hi ha 8,8 m, mentre que abans era de 72,4 m. En el gràfic 11 es poden observar les mateixes posicions dels gràfics 8 i 10, amb correcció diferencial i sense, i les mitjanes aritmètiques respectives. El resultat és evident, més concentració de les posicions corregides i un desplaçament del punt resultant de la mitjana de 78 metres cap al nord-oest.

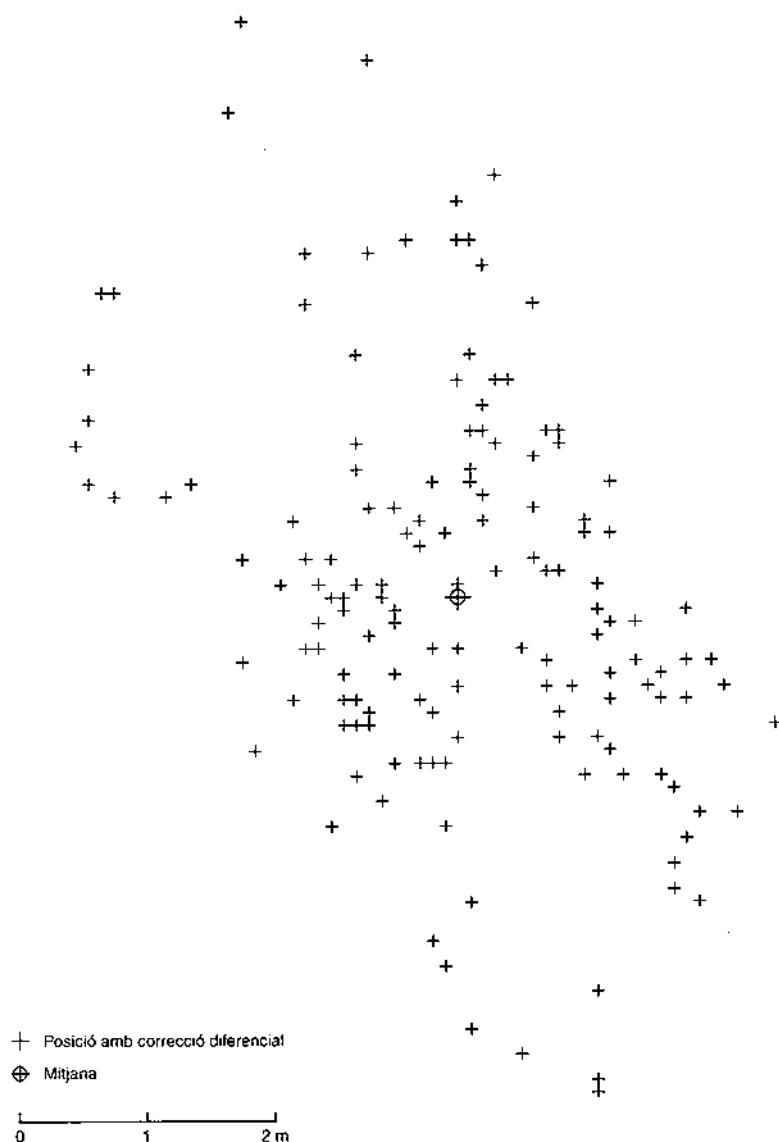
## 6. Verificació i exportació dels resultats

En aquesta fase es comprova la coherència de la distribució dels punts que formen cada polígon. Es tracta de verificar la forma geomètrica correcta dels polígons, per evitar la utilització d'algun punt corresponent a un altre polígon. Aquesta operació es farà, un cop corregides diferencialment les posicions i calculades les mitjanes aritmètiques, contrastant els esquemes i les notes preses durant el treball de camp amb la informació digital, visualitzant cada polígon a la pantalla de l'ordinador.

Un cop verificada la informació, es pot exportar a un programa de cartografia digital, de sistemes d'informació geogràfica o de teledetecció, segons la finalitat de l'estudi.

## 7. Conclusions

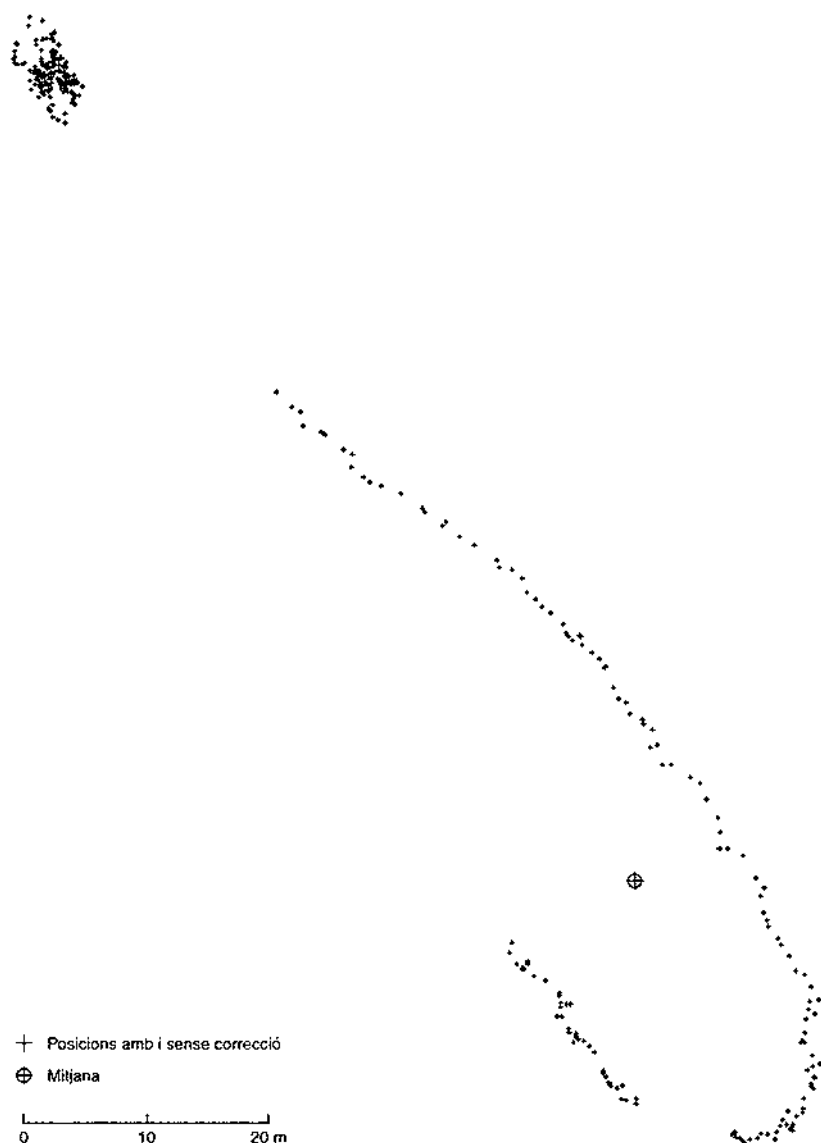
Els SPG són de gran utilitat per a l'actualització de cartografia topogràfica o temàtica, i per a l'actualització de bases de dades geogràfiques, en permetre



Gràfic 10.

d'una forma relativament econòmica, ràpida i precisa l'adquisició d'informació geogràfica.

La informació digital, captada i processada per un SPG, es pot exportar a un programa de cartografia digital per elaborar directament un mapa; pot exportar-se a un programa de tractament d'imatges de satèl·lit per sobreposar-



Gràfic 11.

la a una imatge corregida geomètricament, i possibilitar la identificació i discriminació d'usos i cobertes del sòl; o pot exportar-se a un programa de sistemes d'informació geogràfica com una capa més d'informació per a la seva actualització dins d'una base de dades.

## Bibliografia

- HURN, Jeff (1992). *GPS. A guide for the next utility*. Madrid: Trimble Navigation.
- KENNEDY, Michael (1995). *The Global Positioning System and GIS*. Ann Arbor (Michigan): Ann Arbor Press.
- LANGLEY, Richard B. (1993). «Communication links for DGPS». *GPS World*, maig, p. 47-51.
- NÚÑEZ, Alfonso; VALBUENA, José Luis; VELASCO, Jesús (1992). *G.P.S. La nueva era de la Topografía*. Madrid: Ed. de las Ciencias Sociales.
- SLUITER, P.G. (1993). «The world of DGPS». *GIM*, juliol, p. 57-61.
- STUTHEIT, Juliann (1991). «GPS is Creating a Technological Revolution». *GIS World*, novembre-desembre, p. 29-31.
- STUTHEIT, Juliann (1990). «GIS/GPS Link Produces Maps FAST». *GIS World*, abril-maig, p. 61-63.